LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

Proposta de uma sistemática para a implantação de parques eólicos *offshore*

Marcio dos Santos Dantas
Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA)
Rua Gamaliel Martins Bezerra, s/n, Angicos – RN
marcio.dantas15489@alunos.ufersa.edu.br

Pedro Víctor Dantas de Brito
Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA)
Rua Gamaliel Martins Bezerra, s/n, Angicos – RN
pedro.brito@alunos.ufersa.edu.br

Duan Vilela Ferreira
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Av. Francisco Mota, 572, Mossoró - RN
duan.vilela@ufpe.br

Ciro José Jardim de Figueiredo
Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA)
Av. Francisco Mota, 572, Mossoró - RN
ciro.figueiredo@ufersa.edu.br

Caroline Maria de Miranda Mota
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife – PE
caroline.mota@ufpe.br

RESUMO

Esse trabalho propõe uma sistemática abrangente para a seleção de locais para implantação de parques eólicos *offshore* no Brasil, com foco na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e na plataforma continental. Através de uma revisão bibliográfica e exploração metodológica, destacando os desafios regulatórios associados a essa forma de energia renovável. Com base em uma entrevista com especialista e revisão da literatura, foram identificados e analisados os principais critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais considerados na seleção de locais para os parques eólicos. A proposta foi estruturada em fases, desde a obtenção de dados preliminares até a concessão do bem público e emissão das licenças necessárias para a instalação dos parques. Essa abordagem sistemática visa garantir a seleção de locais mais adequados e sustentáveis. Ao final, uma aplicação usando o FiTradeoff foi realizada para demonstrar a viabilidade da proposta, considerando alternativas offshore no Brasil.

PALAVRAS CHAVE. Energia Eólica, Ordenação, FITradeoff.

Tópicos (SE-FITradeoff, ADM – Apoio à Decisão Multicritério)

ABSTRACT

This work proposes a comprehensive systematic for selecting locations for the implementation of offshore wind farms in Brazil, focusing on the Exclusive Economic Zone (EEZ) and the continental shelf. Through a literature review and methodological exploration, highlighting the regulatory challenges associated with this form of renewable energy. Based on an interview with an expert and a review of the literature, the main technical, economic, environmental and social criteria considered in the selection of locations for wind farms were identified and analyzed.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

The proposed framework was structured in phases, from obtaining preliminary data to granting public property and issuing the necessary licenses for installing the parks. This systematic approach aims to ensure the selection of the most suitable and sustainable locations. At the end, an application using FiTradeoff was conducted to demonstrate the feasibility of the proposal, considering offshore alternatives in Brazil.

KEYWORDS. Wind Energy. Ranking. FITradeoff.

Paper topics (SE-FITradeoff, ADM – Apoio à Decisão Multicritério)

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

1. Introdução

As energias fósseis, ao longo das últimas décadas, tem sido fontes predominantes de geração energética mundial, sendo um dos principais impulsores do desenvolvimento humano. No entanto, a degradação do meio ambiente, resultando no aquecimento global pelo efeito estufa, diminuição da camada ozônio e evento climáticos adversos tem sido as razões pelo incentivo de outras fontes mais sustentáveis [Wang et al. 2022]. Neste sentido, o Acordo de Paris estabelece metas como manutenção da temperatura global abaixo os níveis pré-industriais, ações para lidar com os efeitos das mudanças do clima e reduzir as emissões dos gases do efeito estufa [Carvalho et al. 2020]. Dentre as principais fontes de energias renováveis amplamente aplicadas mundialmente está a eólica que, com zero emissão de CO_2, não poluição do ar e não contribui para a destruição da camada de ozônio [Gigovic et al. 2017].

A sua geração pode ser dividida em energia eólica *onshore* e *offshore*. De acordo com [Medeiros 2014], a diferença entre a *onshore* e *offshore* é que a geração de energia eólica *onshore* acontece em parques instalados em terra firme, enquanto a *offshore* tem a geração da energia eólica por meio de parques localizados no mar. Os projetos offshore também possuem vantagens como melhor desempenho de geração e maior disponibilidade de energia devido a densidade dos ventos [Yunna et al. 2016]. De acordo com a Lei Federal Nº 8.617, de 1993, é regulamentado que as principais áreas para a exploração *offshore* de qualquer natureza são na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e na plataforma continental brasileira.

De acordo com [Dantas et al. 2021], a energia eólica mostra-se uma fonte de geração elétrica bastante difundida no nordeste brasileiro, região que apresenta boas correntes e velocidades de vento relativamente constantes em boa parte dos estados. Em confirmação, informações publicadas recentemente pela Agência Nacional de Energia Elétrica – [ANEEL 2024] mostram que o Brasil possui atualmente uma capacidade instalada de 29,53 GW e 1.003 parques eólicos (com quantos aerogeradores? Comparado com outros países, isso é muito?).Neste contexto, o estado do Rio Grande do Norte desponta como um dos maiores produtores, com uma capacidade de instalada de 9,44 GW em 293 parques. Por outro lado, projetos *offshore* são entendidas como as atividades desenvolvida em alto mar, ou seja, a energia eólica *offshore* são atividades relacionadas a construção e operação desse tipo de empreendimento no mar, lagos ou lagoas. Embora apresentem dificuldades de implantação, está no mar as melhores áreas para a instalações desses parques eólicos, pelo fato da abundância do vento, distância das comunidades que sofrem com o incômodo de ruídos gerados pelas torres entre outros benefícios.

Embora a geração de energia eólica traga muitos benefícios para a sociedade, principalmente com a redução das emissões de gases do efeito estufa, ela também apresenta seus impactos negativos, como qualquer empreendimento. De acordo com [Costa et al. 2019], a implantação de parques eólicos *onshore* no Ceará provocou impactos significativos. como a diminuição da fauna de flora local, geração de ruídos, fissuras na estrutura de edificações e descaracterização da paisagem. Em relação aos parques eólicos *offshore*, também apresentam fatores negativos, de acordo com [Bailey et al. 2014], impactos ambientais como colisão de aves e ruídos que provoquem perturbações na vida marinha. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo de propor uma sistemática para estruturar os fatores de seleção de localidades para a implantação de parques eólicos offshore na Zona Econômica Exclusiva e na plataforma continental do Brasil, levando em consideração a Legislação Brasileira vigente. É importante destacar que projetos eólicos offshore tem diversos benefícios, como constância de ventos, logística mais acessível e casos de êxito em outros países.

3. Abordagem Metodológica e Revisão da Literatura

3.2 Trabalhos relacionados

Primeiramente, foram realizadas buscas na base de periódicos da *Web of Science*. Neste sentido, foram utilizados conjuntos de palavras-chave que pudessem abranger melhor a análise da

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

geração de energia eólica *offshore*. Conforme [Tranfield 2003], uma revisão sistemática da literatura inicia-se com a elaboração das palavras-chave e o revisor deve decidir a melhor forma de colocar os termos chave em conjunto de maneira a gerar maior abrangência nos resultados obtidos nas buscas. A Tabela 1, detalha o conjunto de palavras-chave utilizadas para obtenção da base bibliométrica:

Tabela 1. Combinações de palavras-chave

Combinações	Palavra-chave 1	Palavra-chave 2	Palavra-chave 3	Palavra-chave 4	Resultados obtidos
1	*Wind farm*	*Geographical Information Systems*	*Multiple Criteria*	*Offshore*	4 trabalhos encontrados
2	*Wind farm*	*Geographical Information Systems*	*Muilti-criteria*	*Offshore*	18 trabalhos encontrados
3	*Wind farm*	*Geographical Information Systems*	*Offshore*	-	38 trabalhos encontrados
4	*Wind farm*	*Mutiple criteria*	*Offshore*	-	43 trabalhos encontrados
5	*Wind farm*	*GIS-MCDA*	*Offshore*	-	1 trabalho encontrado
6	*Wind farm*	*GIS-MCDM*	*Offshore*	-	4 trabalhos encontrados

Para a revisão foram definidos alguns parâmetros para melhor apuração dos resultados dos documentos encontrados: Artigos publicados em língua inglesa;

- Artigos publicados entre 2010 e julho de 2023
- Artigos e revisões publicados em periódicos;
- (as palavras chave já dizem isso)

A busca na base de periódicos *Web of Science* resultou em um total de 108 trabalhos. Após a exclusão dos trabalhos duplicados a coleta dos artigos resultou em 78 trabalhos. Além disso, 14 trabalhos de congressos foram excluídos, totalizando 64 trabalhos entre artigos e revisões. Por fim, foram excluídos mais 11 artigos após a leitura dos títulos, resumos e partes do texto, após a leitura preliminar dos trabalhos (títulos e resumos), restaram 53 documentos. A Tabela 2 a seguir apresenta os resultados dos artigos encontrados e dos artigos removidos da análise bibliométrica.

Tabela 2. Remoção dos artigos que não se enquadra nos parâmetros estabelecidos na pesquisa

Atividades	***Web of Science***
Busca na base de Dados *Web os Science*	108
	-30
	-14
Remoção após leitura de Título, Resumo e partes do texto	-11
Trabalhos Restantes	53

Fonte: Autoria própria

Ao final, os 53 artigos foram usados na construção da sistemática que será apresentado nos resultados do artigo.

4. Entrevistas com à especialista

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

Nesta pesquisa foi realizada uma entrevista estruturada de respostas abertas com uma especialista na área de energia eólica, da área de inovação de produtos e processos, atuando mais especificamente com pesquisas envolvendo a manutenção de turbinas de aerogeradores *offshore*. O principal objetivo da entrevista é de entender, na percepção de um especialista de quais fatores os tomadores de decisão utilizam na escolha e um local para a implantação de parque eólico *offshore*. Algumas das perguntas e respostas obtidas na entrevista podem ser observadas no Quadro 1. Com o questionário foi possível coletar as informações técnicas necessárias para a implantação de parques eólicos e sua relevância na construção do problema.

Quadro 1. Perguntas e Respostas da entrevista com à especialista

Perguntas	**Respostas**
1. *Quais são as etapas para a escolha de um local para a implantação de um parque eólico offshore?*	Primeiramente, é realizada a análise exploratória da área, via satélite. Nesta análise são verificadas as velocidades dos ventos e a densidades de potência geradas. Em seguida é realizado um estudo preliminar sobre uma possível geração de energia. Caso os resultados sejam positivos, são instaladas boias ou torres para medição de parâmetros, por um período de três a cinco anos. Com os dados reais verificados é realizada uma análise de viabilidade, onde os fatores técnicos e econômicos são levados em conta para a tomada de decisão. Se existir viabilidade, é realizada a etapa de regularização da área para a instalação do parque. Na etapa regulatória entram as etapas de leilão e regularização. Em suma, para a seleção de locais e para a implantação de um parque eólico *offshore*, são necessários cinco passos: A análise exploratória, estudos preliminares, as medições *in loco*, a análise de viabilidade técnica-econômica e a etapa regulatória.
2. *Na sua percepção, quais os critérios que mais são levados em consideração para a escolha de localidades para a implantação de parques eólicos offshore? Existe mais algum aspecto que é levado em consideração?*	Os critérios que são mais levados em conta para a implantação de parque eólico *offshore* são a profundidade do mar, a velocidade dos ventos, a distância dos parques para áreas ambientais protegidas, como também para outras áreas utilizadas para outras atividades econômicas, como área de pesca, distância para a costa, proximidades com as linhas de transmissão e subestações elétricas. Outros aspectos também são levados em conta, como a distância para portos e questões logísticas.
3. *Na sua percepção, o quão importante é a análise de critérios na tomada de decisão para escolher um local offshore para esses tipos de empreendimento? Ou essa análise não é importante?*	É importante a análise dos critérios para a implantação de parques eólicos *offshore*, pois, são muitos aspectos que são levados em consideração para encontrar um equilíbrio entre os fatores utilizados.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

4. *Dentre os fatores técnicos, econômicos, ambientais e sociais, existe uma hierarquia para a tomada de decisão para a escolha de locais para instalação desses empreendimentos? Descreva essa hierarquia.*	Para a instalação de parques eólicos *offshore*, primeiramente, são levados em consideração os fatores técnicos, em seguida, os fatores econômicos, em terceiro, os critérios ambientais e por último, os critérios sociais.
5. *Quais critérios técnicos são levados em considerados na tomada de decisão?*	Os critérios seriam a velocidade do vento, densidade de potência, ciclos dos picos de vento, profundidade para a definição dos tipos de fundação e a distância da costa.
6. *Quais critérios econômicos são levados em consideração na tomada de decisão?*	Os critérios econômicos são o de investimento inicial para a implantação, lucro pela geração da energia elétrica e período de retorno do investimento inicial.
7. *Quais critérios ambientais são levados em consideração na tomada de decisão?*	Os critérios ambientais que são mais levados em consideração são os impactos dos ruídos, as rotas de aves migratórias, impactos visuais e o impacto no desequilíbrio dos habitats das espécies marinhas.
8. *Quais os critérios Sociais são levados em consideração na tomada de decisão?*	Os critérios sociais são os relacionados a aceitação pública das comunidades próximas dos parques eólicos *offshore*.

Fonte: Autoria Própria

5. Elaboração da Sistemática

5.1. Identificação dos critérios

Deste modo, foram encontradas quatro dimensões principais. A dimensão financeira envolve critérios ligados aos custos, como o custo de investimento, custo fixo e variáveis relacionadas aos custos de Operação e Manutenção, além dos custos elétricos. A dimensão técnica aborda a geração de energia, considerando aspectos como eficiência energética, maturidade técnica e capacidade instalada. A dimensão ambiental foca nos impactos negativos ao meio ambiente, incluindo emissões de CO2 e destruição do ecossistema. Já a dimensão social se concentra na maximização do bem-estar social, englobando a criação de empregos e benefícios sociais. [Lee e Chang 2018]. Com a participação da especialista, também foi possível corroborar com as informações obtidas na revisão da literatura.

Existem alguns critérios que são mais comuns suas aplicações em análise de modelagem como eficiência e capacidade instalada para os aspectos técnicos, a emissão de CO2 e uso da terra para os aspectos ambientais. Já para os aspectos econômicos os critérios de custos de investimentos e custos de operações e manutenção são comuns de serem aplicados em outros trabalhos. Por fim, na área social uns dos critérios normalmente usados são criação de empregos e aceitação social. A seguir, a Tabela 3, com os critérios listados nesta seção.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

Tabela 3. Relação dos critérios listados na seção de Critérios da Fundamentação Teórica

Autor	Econômico	Técnico	Ambiental	Social
Lee e Chang, 2018	- Custo fixo; - Custos variáveis; - Custos de operação e manutenção; - Custo elétrico.	- Eficiência energética; - Maturidade técnica; - Capacidade instalada.	- Emissões de CO2; - Destruição do meio ambiente ecológico.	- Criação de empregos; -Benefícios sociais.
Santovo-Castelazo e Azapagic, 2014		- Custos de capitais; - Custos totais anualizados; - Custos nivelados de energia.	- Aquecimento global; - Redução abiótica; - Acidificação; - Eutrofização; - Ecotoxidade aquática de água doce; - Toxidade humana; - Ecotoxidade aquática marinha; - Redução da camada de ozônio; - Criação fotoquímica de ozônio; - Poluição no verão; - Ecotoxidade terrestre.	- Segurança e diversidade do abastecimento; - Aceitabilidade pública; - Saúde; - Segurança; - Questões intergeracionais.
Tsoutsos *et al.*, 2009	- Custos de investimentos; - Custos de operações e manutenção; - Economia de combustíveis convencionais; - Manutenção; - Tecnologia; - Segurança do abastecimento.		- Emissões de CO2 evitados; - Viabilidade dos efeitos ambientais remanescentes.	- Contribuição para o desenvolvimento e bem-estar local; - Aceitação social.
Strantzali e Aravossis, 2016	-Eficiência; -Capacidade instalada.	- Custos de investimento; - Custo de operação e manutenção.	- Emissões de CO2; - Uso da terra.	- Criação de empregos; - Aceitabilidade social.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

Latinopoulos e Kachagia, 2015	- Distância das estradas; - Velocidade do vento; - Proximidade de aeroportos; - Inclinação		- Paisagens protegidas; - Sítios arqueológicos; Sítios históricos; Áreas urbanas; - Assentamentos tradicionais; - Instalações turísticas; -Restrições de uso da terra.	

Portanto, é importante mencionar que modelo de decisão podem lidar com as tratativas complexas e específicas que, neste caso, estão associadas a grandes projetos de investimento. DE maneira geral, projetos são todos diferentes, com objetivos e escopos diversos. Ou seja, cada modelo terá suas especificidades de objetivos, parâmetros e preferências de um decisor ou decisores de acordo com a situação problema em questão. Não podendo patronizar todas as informações referentes a critérios, mas ter uma base consolidada para o problema de projetos *offshore*.

5.2. Sistemática para seleção de projetos *offshore*

Para estruturar uma sistemática de seleção de locais para parques eólicos offshore na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e na plataforma continental do Brasil, é crucial entender a legislação brasileira sobre concessões e direitos de geração de energia elétrica nessas áreas. Atualmente, o Decreto Federal Nº 10.946, de 25 de janeiro de 2022, regula a cessão de espaços para parques eólicos offshore, mas o país ainda não possui uma legislação clara para essa prática. Um marco regulatório está em trâmite por meio do Projeto de Lei Nº 11.247, de 2018, que visa estabelecer uma legislação sólida para energias renováveis offshore. A sistemática deste trabalho considera tanto o decreto vigente quanto as propostas do novo marco regulatório, e foi desenvolvido com base na entrevista com a especialista e a revisão da literatura.

A primeira fase da sistemática para a escolha de localidade para um parque eólico envolve a obtenção de dados climáticos preliminares e de áreas restritas via satélite. Esses dados são essenciais para que o Ministério de Minas e Energia e a ANEEL possam mapear as áreas mais promissoras, auxiliando as organizações privadas nos projetos. Serão considerados dados climáticos como velocidade e densidade do vento e profundidade do mar, além de informações sobre áreas restritas, como áreas militares, de proteção ambiental, rotas marítimas, exploração de gás e petróleo, rotas de vida marinha e aves, oleodutos e cabos de conexão. Para a análise das zonas de restrições, a sistemática considerou os estudos de [Dvorak et al. 2010], [Shao et al. 2020], [Vasileiou et al. 2017], [Mahdy e Bahaj 2018], [Schallenberg-Rodriguez e Motesdeoca 2018], [Wu et al. 2020], juntamente com o Decreto Nº 10.946, de 2022.

Na segunda fase da sistemática, é proposta a realização da coleta dos dados climáticos. Essas medições ajudarão na melhor tomada de decisão, pois os dados serão mais precisos e permitirão identificar tendências e interferências dos fatores na produção de energia eólica. Para uma melhor análise desses dados, é preferível que esses valores sejam coletados por um período determinado. Outro ponto importante é que essa análise *in loco* deverá ser realizada pela EPE por meio de uma Licença Prévia (LP) emitida pelo IBAMA. É importante também ressaltar que a EPE deve realizar um Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA) ainda nessa fase de estudos, antes da ANEEL ofertar os blocos para as concessões das áreas. O EVA é muito importante de ser realizado nessa etapa, pois seu principal objetivo é analisar a viabilidade ambiental em relação à instalação e operação do parque eólico, definindo assim os melhores locais para a instalação do

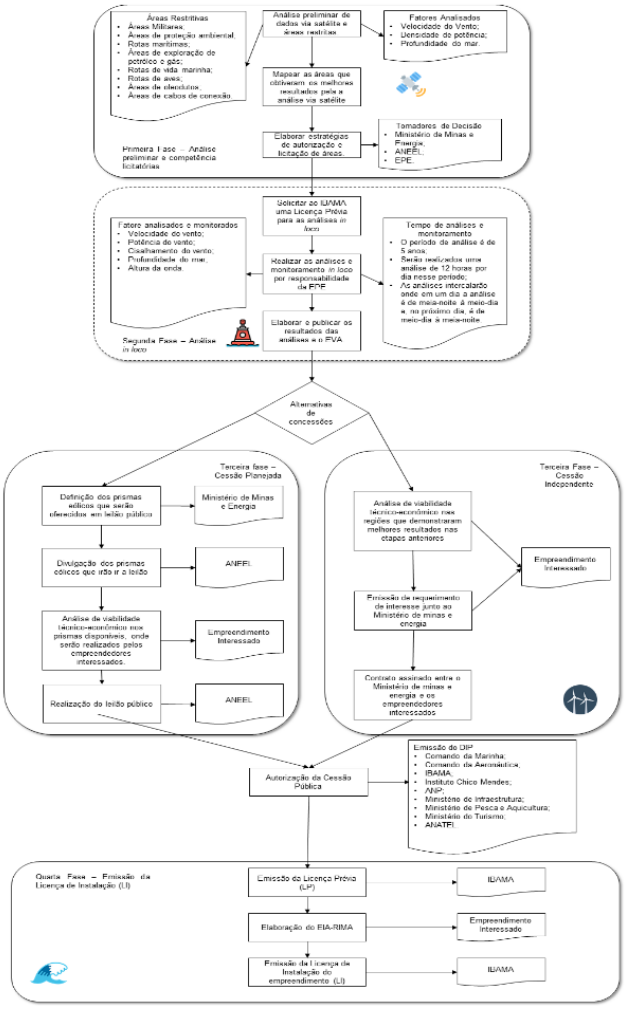
DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

empreendimento e auxiliando os interessados na tomada de decisão. O EVA é normalmente solicitado pelo IBAMA com um estudo preliminar do EIA-RIMA. Esses procedimentos já são usados no licenciamento de projetos em terra e portanto, podem ser replicados para o caso em estudo.

Na terceira etapa da sistemática, ocorre a concessão do bem público para a exploração e geração de energia eólica, juntamente com as análises de viabilidade técnico-econômica dos projetos dos parques eólicos. As concessões das áreas, seja nas águas interiores, no mar territorial ou na Zona Econômica Exclusiva, são realizadas de forma onerosa. Isso ocorre por meio de um processo de chamada pública através de licitações para leilões de blocos de exploração (cessão planejada), ou pela identificação de potenciais interessados em explorar determinada localidade já escolhida previamente (cessão independente).

A análise da viabilidade técnico-econômica está ligada à forma como a União concede o uso do bem público para exploração de energia elétrica. Se a concessão for motivada pelo interesse do empreendedor, o estudo de viabilidade pode ocorrer antes do pedido de concessão, permitindo ao interessado escolher o local mais propício para a geração de energia, maximizando eficiência e retorno financeiro, e minimizando custos de instalação, operação e manutenção. No entanto, se a concessão partir de um planejamento do Ministério de Minas e Energia e da ANEEL, via licitação de blocos, a viabilidade técnico-econômica deverá ser analisada após a divulgação dos blocos, para identificar as melhores condições para a implantação dos parques eólicos offshore. As etapas da sistemática são ilustradas na Figura 1 a seguir.

Figura 01. Estrutura da sistemática.



DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

6. Aplicação do *FITradeoff*

Com o intuito de mostrar a viabilidade da sistemática proposto foi realizada uma aplicação, considerando informações para avaliação de alternativas de parques *offshore* na costa brasileira. Foram, consideradas informações relativas aos projetos previstos pela parceria entre a empresa Petróleo Brasileiro S.A. e uma empresa de capital privado. Atualmente, os projetos estão na etapa de avaliação de viabilidade. No total, a aplicação analisou quatro alternativas: "Parque Mangara", "Parque Ibitucatu", "Parque Colibri" e "Parque Atobá e Ibituassu" e, sendo os três primeiros na região nordeste (envolvendo os estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte) e o último na região sul (estado do Rio Grande do Sul). Devido as características das informações disponíveis nos meios de comunicação, o acordo já prevê a localização dos possíveis parques. Portanto, foi aplicada a segunda etapa da sistemática, que diz respeito a avaliação das alternativas.

Devido as características da situação estudada na qual se requer a avaliação de alternativas previamente conhecidas e um grupo de critérios contendo objetivos distintos, optou-se pela abordagem de Apoio Multicritério à Decisão (ADM). Existem diversas abordagens disponíveis na literatura e dada as limitações existentes relativa à disponibilidade de informações, o método *FITradeoff* (*Flexible and Interactive Tradeoff*) proposto por Almeida et al. [2016] foi escolhido, considerando a problemática de ordenação [Almeida et al. 2021; Frej et al. 2019]. O método tem sido amplamente usado na literatura, com variações nas problemáticas classificação e portfólio, com a primeira abordagem para caso de escolha de alternativas [Almeida et al. 2016].

O *FITradeoff* para problemas de ordenação tem entre suas características o conceito de dominância existente entre os pares de alternativas, para obter uma ordem parcial ou completa. O uso de programação linear resultante dessa comparação entre os pares para identificar as relações de dominância. A aplicação de perguntas sobre as preferências e avaliação considerando um nível das informações. O modelo de programação linear é resumido abaixo:

$$MaxD(a_i, a_k) = \sum_{j=m}^{m} w_j v_j(a_i) - \sum_{j=m}^{m} w_j v_j(a_k)$$

S.T

$w_1 > w_2 > \cdots > w_m | \sum_{j=m}^{m} w_j = 1$

$w_j v_j(x_j') > w_{j+1}$ com $j = 1$ *até* $m - 1$

$w_j v_j(x_j'') < w_{j+1}$ com $j = 1$ *até* $m - 1$

$w_j \geq 0$ com $j = 1$ *até* m

Em seguida, a matriz de relação de dominância é criada para cada ciclo de interação, gerando-se a ordenação das alternativas. Para cada ciclo criado, o decisor avalia se o resultado satisfaz o seu conjunto de preferências. Ainda na fase das entrevistas, o decisor apresentou uma abordagem compensatória. Sendo o processo, finalizado quando o decisor estiver satisfeito com o ranking obtido. No presente estudo, foram usados quatro critérios macros, dispostos na Tabela 4 abaixo. Os critérios "Ambiental" e "Social" e que dizem respeito aos impactos e prejuízos ocasionados pelos projetos foram construídos considerando 3 níveis para o primeiro e binário para o segundo, em função de considerar a presença ou não de comunidades próximas.

Tabela 4. Descrição dos critérios usados.

Critério	Descrição	Unidade	Monotonicidade	Escala empregada
Vento	Intensidade média do vento, considerando a disponibilidade média anual.	m/s	Maximização	Natural
Custo	Previsão de investimento por projeto.	R$/projeto	Minimização	Natural
Ambiental	Impacto causado através de danos ambientais.	-	Minimização	Construída

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

Social	Impacto causado nas populações próximas aos locais relativos as atividades logísticas empregada.	-	Minimização	Construída

Durante a construção e aplicação do modelo, foi considerada a participação da especialista que realizou a entrevista para construir a sistemática. Também foi questionado o tipo de avaliação da especialista, sendo definida como compensatória. Ou seja, um desempenho negativo de uma alternativa para um dado critério pode ser compensado por um melhor desempenho de outro critério. Em seguida, foi realizada a avaliação intracritério, com duração de quatro ciclos. O desempenho de avaliação dos três critérios é apresentado na Figura 2, seguinte. O critério "Social" pode apresentar dois níveis, apenas, não foi considerado.

Figura 02. Avaliação da preferência dos critérios usados.



Durante o processo, a especialista elencou as demais preferências, não havendo incomparabilidade e demonstrando relação de dominância entre as quatro alternativas. Por fim, chegou-se à obtenção da ordenação final do processo. O projeto "Parque Colibri" ficou na primeira colocação do ranking obtido, seguido pelos projetos: "Parque Mangara", "Parque Ibitucatu", "Parque Atobá e Ibituassu". A localização do parque é entre as divisas dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, em uma posição que possui posição estratégica devido a disponibilidade de ventos durante boa parte do ano e acessibilidade viária em função das rodovias já existentes. Além disso, estrategicamente possui acesso dois portos marítimos (Fortaleza e Natal). Deste modo, pode-se afirmar que o uso do modelo do framework possui uma estrutura adequada para lidar com esse tipo de problema. Além disso, um modelo de decisão é viável para o alcance dos resultados.

6. Discussões e Conclusão

O trabalho apresentado propõe uma sistemática abrangente para a seleção de locais visando a implantação de parques eólicos *offshore* no Brasil, com foco na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e na plataforma continental. A partir de uma revisão da literatura e conhecimento especialista buscou se conhecer regulações, etapas e parâmetros decisórios relevantes no contexto. Com isto, foram identificados e analisados os principais critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais considerados na seleção de locais para os parques eólicos.

A sistemática proposto foi estruturado em fases, desde a obtenção de dados preliminares até a concessão do bem público e emissão das licenças necessárias para a instalação dos parques. Essa abordagem sistemática visa garantir uma proposta que apoie a seleção de locais mais adequados e sustentáveis, levando em consideração aspectos como viabilidade técnico-econômica, obtenção de licenças ambientais e participação pública. Em seguida, foi realizada uma aplicação parcial da sistemática, considerando um modelo de decisão multicritério – *FITradeoff*. Foram considerados quatro critérios macro e quatro alternativas reais, cuja as atividades estão na fase de viabilidade. O resultado demonstrou que a escolha mais bem ranqueada fica situada em um região do nordeste, com boa disponibilidade de vento ao longo do ano.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

É importante destacar que houve algumas limitações para a elaboração deste trabalho. A primeira limitação é que o desenvolvimento da sistemática, no que diz respeito às questões regulamentares, baseou-se apenas no Decreto Presidencial Nº 10.496, de 2022, e em um possível Marco Regulatório representado pelo Projeto de Lei Nº 11.247, de 2018, que ainda está em processo de aprovação nas Câmaras Legislativas Federais. Até o momento exato da conclusão deste estudo, o Marco Regulatório ainda não foi definitivamente aprovado, o que resulta em uma segunda restrição. Como o Brasil não possui um Marco Regulatório para a exploração de energia eólica *offshore*, o país não tem nenhum projeto de parque eólico *offshore* comercial em fase de instalação nem em operação. Isso torna inviável a comparação da sistemática proposta com um caso real para as condições locais, com a pretensão de ampliar para estudos futuros.

Referências

ANEEL. (2024). Sistema de Informações de geração de energia elétrica da ANEEL.

Bailey, H., Brookes, Kate L. e Thompson, P.M. (2014). Assessing environmental impacts of offshore wind farms: lessons learned and recommendations for the future. Aquatic biosystems, v. 10, p. 1-13.

Carvalho, N.B., Viana, D.B., Araújo M.S.M., et al. (2020). How likely is Brazil to achieve its NDC commitments in the energy sector? A review on Brazilian low-carbon energy perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews. V. 133, p. 1-13.

Costa, M.A.S. et al. (2019). Impactos socioeconômicos, ambientais e tecnológicos causados pela instalação dos parques eólicos no Ceará. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, p. 399-411.

Dantas, L.A.V.S. (2023). Análise de viabilidade dos modelos de transmissão CC/CA em parques eólicos offshore. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

De Almeida, A.T., Almeida, J.A., Costa, A.P.C.S., De Almeida-Filho, A.T. (2016). A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. European Journal of Operational Research, v. 250, p. 179-191.

De Almeida, A.T., Frej, E.A. e Roselli, L.R.P. (2021). Combining holistic and decomposition paradigms in preference modeling with the flexibility of FITradeoff. Cent Eur J Oper Res, v. 29, p.7–47.

Dvorak, M.J., Archer, C.L. e Jacobson, M.Z. (2010). California offshore wind energy potential. Renewable Energy, v. 35, n. 6, p. 1244-1254.

Frej, E.A., de Almeida, A.T. e Costa, A.P.C.S. (2019). Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. Operational research, v. 19, p.909-931.

Gigovic, L., Pamucar, D., Bozanic, D. e Ljubojevic, S. (2017). Application of the GIS-DANP-MABAC multicriteria model for selecting the location of wind farms: A case study of Vojvodina, Serbia. Renewable Energy, v. 103, p. 501-521.

Lee, H., Chang, C. (2018). Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 92, p. 883-896.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br

Mahdy, M. e Bahaj, A.S. (2018). Multi criteria decision analysis for offshore wind energy potential in Egypt. Renewable energy, v. 118, p. 278-289.

Medeiros, J.P.C. (2014). Precificação da energia eólica offshore no Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

ONU. (2023). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil.

Pinto, M. (2013). Fundamentos de Energia Eólica. Rio de Janeiro: LTC. *E-book*. ISBN 978-85-216-2193-5.

Santos, P.H.N. (2022). Avaliação geoecológica da produção de energia eólica onshore no litoral norte e sul de Sergipe. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Sergipe.

Schallenberg, J.R. e Montesdeoca, N.G. (2018). Spatial planning to estimate the offshore wind energy potential in coastal regions and islands. Practical case: The Canary Islands. Energy, v. 143, p. 91-103.

Şengül, Ü. et al. (2015). Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. Renewable Energy, v. 75, p. 617-625.

Tranfield, D., Denyer, D. e Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. British journal of management, v. 14, n. 3, p. 207-222.

Vasileiou, M.; Loukogeorgaki, E. e Vagiona, D.G. (2017). GIS-based multi-criteria decision analysis for site selection of hybrid offshore wind and wave energy systems in Greece. Renewable and sustainable energy reviews, v. 73, p. 745-757.

Wang, J. et al. (2022). Offshore wind turbine selection with a novel multi-criteria decision-making method based on Dempster-Shafer evidence theory. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v. 51, p. 101951.

Wu, Y. et al. (2020). A decision framework of offshore wind power station site selection using a PROMETHEE method under intuitionistic fuzzy environment: A case in China. Ocean & Coastal Management, v. 184, p. 105016.

Yunna, W., Jinying, Z., Jianping, Y. et al. (2016). Study of decision framework of offshore wind power station site selection based on ELECTRE-III under intuitionistic fuzzy environment: A case of China. Energy Conversion and Management, v. 113, p. 66-81.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193494
https://proceedings.science/p/193494?lang=pt-br